

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-307079

(43)Date of publication of application : 17.11.1998

(51)Int.Cl.

G01M 11/02

G01M 11/00

(21)Application number : 09-118198

(71)Applicant : ANRITSU CORP
NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

(22)Date of filing : 08.05.1997

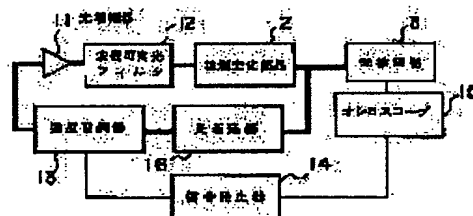
(72)Inventor : YABUTA YUTAKA
FURUKAWA HIROSHI
SAITO TAKANORI
TAKARA HIDEHIKO
KAWANISHI SATOKI
SARUWATARI MASATOSHI

(54) APPARATUS FOR MEASURING WAVELENGTH DISPERSION OF OPTICAL COMPONENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To measure the wavelength dispersion of an optical component, to be measured, whose absolute value of a dispersion value is small with high accuracy by a method wherein the wavelength dispersion characteristic of the optical component is computed on the basis of a known wavelength and on the basis of the detected change portion of an optical length.

SOLUTION: An optical component 2 to be measured is inserted into a mode-locked ring laser ring which is formed of a light amplifier 11, of a wavelength-variable filter 12, of an intensity modulator 13 and of an optical delaying device 16 and in which light orbits. Then, while the modulation frequency of the intensity modulator 13 or the optical length of the optical delaying device 16 is being adjusted, a photodetector 3 which is connected to the ring and which detects a mode-locked oscillation is used, and an optimum optical length is decided. Then, the wavelength-variable filter 12 is operated, and the oscillation wavelength of a mode-locked ring laser is changed. At this time, the mode-locked oscillation is deviated from an optimum state. While the modulation frequency is being kept at a first value, the optical length of the optical delaying device 16 is adjusted, and a change portion which is required to detect the mode-locked oscillation is detected by itself. On the basis of the detected change portion and on the basis of a known wavelength, the wavelength dispersion characteristic of the optical component 2 to be measured is computed.



JPA H10-307079

[0051] Next, the second means (optical length adjusting means) for adjusting the optical length of the mode locked ring laser is described.

5 As the optical length adjusting means, an optical delay apparatus is generally used. An example of configuration of the optical delay apparatus is shown in Fig. 3. Fig. 3 (a) shows the operating principle of optical delay apparatus for delaying a
10 light using a corner cube mirror, and Fig. 3 (b) shows an outline configuration of the optical delay apparatus.

[0052] Here, there is a method of placing the corner cube mirror on a linear moving stage for
15 driving. The corner cube mirror is made of three mirrors that are pasted so that they are mutually rectangular, where an output light is always parallel to an incident light. If the corner cube mirror is moved parallel to the optical axis, the
20 output light arrives at the same spot while the optical distance is changed, i.e., the optical delay amount can be adjusted. An advantage of using the corner cube mirror is in that a wavelength dispersion of the light due to propagation in the
25 space is negligible; therefore, a high precision measurement is available without calibration described below.

[Translation of Drawing]

30 [Fig. 3]

駆動方向 (二箇所)	DRIVING DIRECTION
コーナーキューブミラー	CORNER CUBE MIRROR

35

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-307079

(43) 公開日 平成10年(1998)11月17日

(51) IntCl.⁶

G 0 1 M 11/02
11/00

識別記号

F I

G 0 1 M 11/02
11/00

K
T

審査請求 未請求 請求項の数1 OL (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平9-118198

(22) 出願日 平成9年(1997)5月8日

(71) 出願人 000000572

アンリツ株式会社

東京都港区南麻布5丁目10番27号

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 藪田 豊

東京都港区南麻布五丁目10番27号 アンリ
ツ株式会社内

(72) 発明者 古川 浩

東京都港区南麻布五丁目10番27号 アンリ
ツ株式会社内

(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

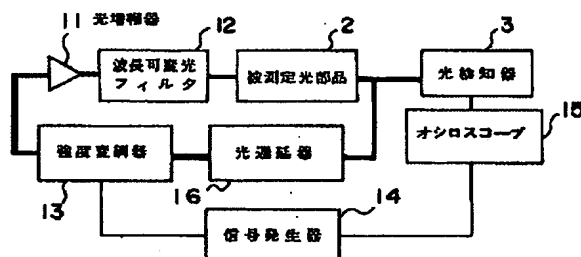
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光部品の波長分散測定装置

(57) 【要約】

【課題】 光通信システムの研究、開発および設計の段階で行われる光部品の波長分散特性を精度よく測定する。

【解決手段】 少なくとも2種類の既知の波長で選択的に発振可能なモードロックリングレーザを備え、モードロックリングレーザのリング中に被測定光部品2を挿入することによって被測定光部品2の波長分散特性を測定する装置であって、リングに接続されていて、モードロック発振を検知する第1の手段3、15と、少なくとも2種類の既知の波長のいずれにおいても一定の繰り返し周波数でモードロック発振が発生するようにモードロックリングレーザの光学長を調節する第2の手段16と、光学長の変化分を検知する第3の手段15、14とを備え、少なくとも2種類の既知の波長と、第3の手段で検知された光学長の変化分とに基づいて被測定光部品の波長分散特性を演算する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも2種類の既知の波長で選択的に発振可能なモードロックレーザを備え、該モードロックレーザのリング中に被測定光部品を挿入することによって当該被測定光部品の波長分散特性を測定するための光部品の波長分散測定装置であって、前記リングに接続されていて、モードロック発振を検知する第1の手段(3, 15)と、前記の少なくとも2種類の既知の波長のいずれにおいても一定の繰返し周波数でモードロック発振が発生するように前記のモードロックレーザの光学長を調節する第2の手段(16)と、前記光学長の変化分を検知する第3の手段(15, 14)とを備え、前記の少なくとも2種類の既知の波長と、前記第3の手段で検知された光学長の変化分とに基づいて当該被測定光部品の波長分散特性を演算することを特徴とする光部品の波長分散測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光通信システムの研究、開発および設計の段階で行われる光部品の波長分散特性の測定に係わり、特に分散値の絶対量が小さい光部品を精度よく測定する光部品の波長分散測定装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 光の群速度が周波数又は波長によって変化する現象である波長分散の測定は以下の点から必要とされている。まず、光パルスビットの0又は1で表す場合、伝送容量を向上させるために、光パルスの幅を細くする。しかし、波長分散のある光ファイバに光パルスを通過させると、スペクトルの一部は相対的に早く進み、別の一部は相対的に遅れて進み、結果的にパルスの形は崩れてしまうという問題が発生する。この波長分散の影響はパルス幅を細くすればするほど大きくなる。

【0003】 この場合、波長分散がきわめて小さい光ファイバを使用することにより波長分散の影響を少なくして光伝送を行うことも可能であるが、将来の光通信ではさらに細い光パルスをより広い波長帯域に亘って使用することが考えられているので、そのような小さい波長分散を精度よく決定することが必要である。また、そのような細い光パルスを広い波長帯域に亘って使用するときには、光ファイバだけでなく、伝送経路上に存在するレンズ、光増幅器、光アイソレータ等のさまざまな光部品が有する波長分散特性も無視できなくなるので、それらの波長分散特性を測定し、伝送経路に与える影響を把握しておく必要がある。

【0004】 一方、光パルスを圧縮する場合や、光ソリトン等の特殊なパルスを使用する場合には、波長分散が存在する部分を積極的に利用しており、波長分散特性を

知っておくことは重要である。

【0005】 従来の波長分散特性の測定方式の例として、特公平2-33971号公報に掲載されたものがある。以下その内容を要約して説明する。この測定方式は、光源から出射された光を単一モード光ファイバに入射し、この単一モード光ファイバから出射された光を光電変換器で光電変換し、この光電変換器からの出力を光源の励起電流に帰還するようにループを構成する。そして、光源から出射された光の波長を変化させたときのループの発振周波数の変化から単一モード光ファイバの波長分散を求めている。

【0006】 この測定方式を図7に基づいて説明する。すなわち、光源である狭スペクトル幅の半導体レーザ1から出射された光を被測定光部品2に入射し、被測定光部品2から出射された光を光検知器3によって光の強度に比例した電気信号に変換する。この電気信号を帯域通過用のフィルタ4を介して増幅器5によって増幅し、振幅制限器6とコンデンサ7とを介して前述の半導体レーザ1に印加する。そして、この電気信号で半導体レーザ1の励起電流を制御することによってループを構成する。

【0007】 途中、半導体レーザ1から出射された光をビームスプリッタ(図示せず)で一部分岐させ、波長計8によって出射光の波長を測定する。半導体レーザ1は恒温装置(図示せず)によって一定の温度に保たれ、直流電源9より直流バイアス電流が供給され、さらに前述の増幅された電気信号がこの直流バイアス電流に重畳される。

【0008】 このとき、半導体レーザ1から出射された光が電気信号となって半導体レーザ1に帰還するループは一種の発振器となり、このループを光および電気信号が周回するときの周期に相当する周波数を基本周波数として発振が生じる。前述の増幅された電気信号を一部分岐させ、周波数カウンタ10等でこの発振周波数を測定する。この技術では発振周波数と基本周波数は一致するので、このようにして、被測定光部品2を含むループの基本周波数が測定されたことになる。

【0009】 次に、恒温装置で保たれる温度を温度制御器によって変更すると、半導体レーザ1によって出射される光の波長が変化するので、その波長を測定する。ここで被測定光部品2に波長分散、すなわち通過する光の波長によって群速度が異なる性質があると、被測定光部品2の光学的距離(=物理的な長さ×屈折率 以下、光学長という)が変わるので基本周波数も変化する。この技術では変化した発振周波数を測定することにより、変化した基本周波数を測定したことになる。

【0010】 ある波長 λ に対する基本周波数を f とすると、基本周波数 f は理論的には次式のように表される。
$$f = 1 / (\tau + T) \quad \dots(1)$$

ここで、 τ は被測定光部品2を光が通過する群遅延時

間、Tは上記ループ中の被測定光部品2以外の部分を光および電気信号が通過する群遅延時間である。

【0011】次に、波長を λ から $\lambda + \Delta \lambda$ に変えたときに基本周波数が f から $f + \Delta f$ へ変化したとし、(1)式と同様に表すと、次のようになる。

$$f + \Delta f = 1 / (\tau + \Delta \tau + T) \quad \dots(2)$$

ここで $\Delta \tau$ は、被測定光部品2を波長 $\lambda + \Delta \lambda$ の光が通過する時間が波長 λ の光に対してどれだけ遅れるかを表す、群遅延時間差と呼ばれる量である。

$$D \triangleq \Delta \tau / (L \times \Delta \lambda) = -\Delta f / (f^2 \times L \times \Delta \lambda) \quad \dots(5)$$

で表される。上式より、 f 、 Δf 、 L および $\Delta \lambda$ を測定することにより被測定光部品2の波長分散Dが計算される。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した従来技術においてもまだ解消すべき次のような課題がある。すなわち、被測定光部品に対する波長分散の測定精度の問題が挙げられる。この従来技術において波長分散の測定精度を制限している要因には次のようなものがある。測定装置における、(1)各電気部品の周波数特性、(2)波長の可変範囲、(3)周波数カウンタの測定精度、(4)各構成部品の調整などである。以下、これらの要因について個別に説明する。

【0015】まず、第1の要因である電気部品の周波数特性の問題点について説明する。すなわち、光検知器3、帯域通過用のフィルタ4、増幅器5及び振幅制限器6の周波数特性による誤差の問題である。ここで問題になる周波数特性とは電気信号の群遅延の周波数に対する依存性であり、光部品における波長分散特性に相当するものである。具体的には、光源の波長を変化させたときの測定において(2)式が成立せず、

$$f + \Delta f = 1 / (\tau + \Delta \tau + T + \Delta T) \quad \dots(6)$$

(6)式で示すように電気信号の群遅延時間差 ΔT が発生し、見掛け上、光の群遅延時間差 $\Delta \tau$ と電気の群遅延時間差 ΔT は分離できないので誤差の要因となる。被測定光部品2が長尺の光ファイバの場合などでは $\Delta \tau \gg \Delta T$ となって ΔT の影響は無視できるが、被測定光部品2の波長分散が小さい場合では ΔT の影響が無視できない。特に、通常の帯域通過用のフィルタ4ではこの ΔT の周波数依存性が大きく、逆に周波数依存性を抑えたフィルタは阻止域の減衰特性が低下するので発振ループとしての安定な動作が損なわれる恐れがある、という問題がある。

【0016】次に、第2の要因である波長の可変範囲の問題点について説明する。(5)式から明らかなように、2種類の波長の差 $\Delta \lambda$ が大きいほど波長分散の測定精度は向上する。従来技術の例では、通常は光源として半導体レーザー1が用いられる。少なくとも2種類の異なる波長の出力光を得るために、半導体レーザー1の温度を変化させている。半導体レーザー1は温度を変化させると出

*【0012】(2)-(1)の操作を行うと、

$$\Delta f \triangleq -\Delta \tau / (\tau + T)^2 = -\Delta \tau \times f^2 \quad \dots(3)$$

となる。したがって、 f および Δf を測定することにより、

$$\Delta \tau \triangleq -\Delta f / f^2 \quad \dots(4)$$

この(4)式より、群遅延時間差 $\Delta \tau$ が計算される。

【0013】波長分散Dは単位長さあたりの群遅延時間差 $\Delta \tau$ を波長で微分したものである。被測定光部品2の物理的な長さを L とすると、波長分散Dは近似的に、

$$D \triangleq \Delta \tau / (L \times \Delta \lambda) = -\Delta f / (f^2 \times L \times \Delta \lambda) \quad \dots(5)$$

力光の波長も変化する性質を有しているが、波長の可変範囲は約3~5nm程度である。

【0017】この可変範囲による波長分散の測定精度の具体的な値は後述するが、波長の可変範囲の拡大は測定精度の向上につながる。加えて、波長の可変範囲の狭さは、別の観点からも問題になりつつある。すなわち、波長分散の測定が必要とされる産業分野、たとえば光通信システムの設計においては、現状では50~100nmの波長範囲に亘って波長分散を測定する必要が生じてきている。これだけの波長範囲に亘って出力光を変化させることのできる波長可変レーザも存在はしているものの、その価格は極めて高く、一般的とはいえない。

【0018】さらに、第3の要因である周波数カウンタの測定精度について説明する。具体的な数値を挙げて説明する。いま、被測定光部品2として長さ100mの光ファイバを考えると、(1)式中の光の群遅延時間 τ はおおよそ500ns程度である。これに対して、電気の群遅延時間Tは一般的に10ns程度なので、 f はほぼ τ に依存しておおよそ2MHz程度である。また、半導体レーザー1の波長可変範囲はおおよそ5nm程度である。一方、現在利用できる周波数カウンタでは Δf の測定精度はおおよそ1Hzである。これらの数値を(5)式に代入すると、波長分散の測定精度はおおよそ0.5pssec/nm/km程度である。

【0019】ところが、現在は零分散ファイバなど波長分散のきわめて小さいファイバが開発されており、0.1pssec/nm/km以下の測定精度が要求される場合も少なくない。したがって従来の技術においてはこのような光ファイバの波長分散の測定では精度が不足気味であった。

【0020】さらに、実際には電氣的なノイズの影響などから、これだけの精度で周波数を測定するためには長時間に亘って測定したデータを平均化するなどの操作が必要であり、操作の煩雑化あるいは測定の長時間化はまぬがれない。

【0021】最後に、第4の要因である各構成部品に調整について説明する。例えば、図7に示す従来技術の装置においては、帯域通過用のフィルタ4、増幅器5および振幅制限器6を用いている。この場合は、それぞれ操作者が通過帯域、増幅率および振幅制限値を調整しなけ

ればならず、測定の容易性、再現性および客観性を損なってしまう。なお、振幅制限器6を用いない別の例もあるが、この場合でも帯域通過用のフィルタ4および増幅器5は必要であり、さらに合成器などの別の装置が必要になるので、上記の問題は解決されていない。

【0022】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本発明においては以下の構成を採用した。なお、実施の形態で採用した符号を用いる。本発明の要旨は、少なくとも2種類の既知の波長で選択的に発振可能なモードロックリングレーザを備え、該モードロックリングレーザのリング中に被測定光部品を挿入することによって当該被測定光部品の波長分散特性を測定するための光部品の波長分散測定装置であって、前記リングに接続されていて、モードロック発振を検知する第1の手段3、15と、前記の少なくとも2種類の既知の波長のいずれにおいても一定の繰り返し周波数でモードロック発振が発生するように前記のモードロックリングレーザの光学長を調節する第2の手段16と、前記光学長の変化分を検*

$$Da \triangleq \Delta \tau / \Delta \lambda = -\Delta f / (f^2 \times \Delta \lambda) \quad \dots(7)$$

【0025】

【発明の実施の形態】以下本発明における光部品の波長分散測定装置の実施の形態を説明する。本発明は光部品の波長分散特性の測定において、モードロックリングレーザを用いたものであり、先ず、リングレーザおよびモードロックリングレーザの概念について説明し、次に個々の構成要素について説明する。

【0026】光増幅器の出力を光振幅器の入力に戻すリングを構成して光増幅器を駆動させ、出力の一部を取り出すと、通常のレーザと同様な光出力が得られる。これは光増幅器が放出する自然放出光と呼ばれるいわばノイズのような光がリングを周回するうちに光増幅器の出力限界まで増幅されるからである。このように構成された装置をリングレーザと呼ぶ。

【0027】上記のリングレーザの発振波長は、光増幅器の増幅効率が最も高くなる波長に固定されている。リングレーザに波長選択機能を持たせるには、波長選択手段を上記リング中に設ければよい。こうすると、光増幅器と波長選択手段のトータルとして増幅効率が最も高くなる波長でレーザ出力光が得られる。波長選択手段としては通常、波長可変光フィルタが用いられる。このように構成された装置もリングレーザと呼ばれるが、厳密には波長可変リングレーザである。

【0028】上記リングレーザ（波長可変リングレーザを含む）のリング中に光変調器または非線型光学媒質を設け、光がリングを周回する周波数（以下、基本周波数という）かまたはその整数倍の周波数で変調を与えると、パルス列状の光出力が得られる。このような装置をモードロックリングレーザと呼び、また、この発振状態をモードロック発振と呼ぶ。

* 知する第3の手段15、14とを備え、前記の少なくとも2種類の既知の波長と、前記第3の手段で検知された光学長の変化分とに基づいて当該被測定光部品の波長分散特性を演算することを特徴とする光部品の波長分散測定装置である。

【0023】すなわち、波長選択手段を備えたモードロックリングレーザのリング中に被測定光部品2を挿入し、モードロック発振するときのパルスの繰り返し周波数を一定に保つために必要とされる光学長の変化分を測定することによって、被測定光部品2の波長分散特性を求める。

【0024】なお、被測定光部品2が例えば光アイソレータのように複数の種類の光部品で構成されている場合は、単位長さ当りの量である波長分散の定義は被測定光部品の分散特性の表現には不便なときがある。よって、本明細書では光部品全体の群遅延時間差の波長微分を全分散量と定義して用いる。すなわち、全分散量をDaとすると(4)式を用いて近似的に(7)式で表される。

【0029】ここで、図2を用いてモードロック発振と光パルス列の関係について説明する。図2(a)は時間領域における光パルス列波形を示しており、縦軸は光の強度、横軸は時間である。また、図2(b)は前記光パルス列のフーリエ変換を示しており、縦軸は光のパワー、横軸は光周波数である。

【0030】図2(b)に示されているように、光パルス列のフーリエ変換は、中心となる光周波数の周りに側帯波（モード）と呼ばれる一定の変調周波数間隔の光が規則的に並ぶ形をしている。また、各モードの位相は一定の関係を保っている。なお、変調周波数は、時間領域で見た光パルス列の繰り返し周波数に一致する。

【0031】ところで時間領域の波形とその（位相情報を含めた）フーリエ変換は1対1の関係にあるので、光周波数領域において、ある中心光周波数の周りに多くのモードを発生させて、それらのモード間の位相を一定の関係を保つように固定させれば、その光を時間領域で見ると光パルス列になっている。これがモードロック発振である。モードロック発振を実現させるためには、基本周波数か又はその整数倍の周波数で光を変調させればよい。

【0032】モードロックリングレーザは、さらに、能動型モードロックリングレーザと受動型モードロックリングレーザとに大別される。能動型と受動型の違いは、変調のための装置として光変調器を用いるか非線型光学媒質を用いるかの違いであり、詳細は後述する。

【0033】また、リングレーザ自体では、原理的には、そのリング中を伝わる光は右回りと左回りの両方が同時に存在可能である。しかし、実際には、使用する光部品の特性上の理由から、どちらか1方向の光のみが存

在するように限定されるのが普通である。

【0034】モードロックリングレーザは通常、光パルス列を得る手段として広く利用されている。しかし、本発明ではモードロックリングレーザを基本周波数を知る装置として利用する。通常モードロックリングレーザは波長選択手段は必ずしも必要ではないが、本発明では、少なくとも2種類の波長で選択的にモードロック発振させる必要があることから、そのための波長選択手段は必須の構成要素である。

【0035】また、本発明では、被測定光部品がモードロックリングレーザのリング中に挿入される必要がある。さらに、本発明では、モードロック発振の繰り返し周波数を一定に保つようにリングの光学長を可変する手段がリング中に挿入される必要がある。

【0036】以下、図1を用いてモードロックリングレーザを構成する各装置について説明する。光増幅器11は入力された光の波長や位相は同一値に保ったままで振幅を約10倍から1000倍に増幅する装置である。現状の技術水準では、光増幅器11は大別してファイバアンプと半導体アンプの2種類がある。

【0037】ファイバアンプは通常の光ファイバに希土類元素を添加したもので、励起光と呼ばれる特定の波長の光を供給することにより入力光の振幅を増幅させる作用を有する。増幅率は励起光の強さに依存するが、1000倍以上の増幅率を得ることも可能である。増幅作用が得られる入力光の波長帯域は、添加される希土類元素にもよるが、一般に50nm程度である。

【0038】一方、半導体アンプは通常の半導体レーザの両端面に無反射膜を蒸着したもので、励起電流を供給することにより入力光の振幅を増幅させる作用を有する。増幅率は励起電流に依存するが、一般に10～50倍程度である。しかしながら、増幅作用が得られる帯域は一般に100nm程度とファイバアンプに対して広い。

【0039】本発明では、モードロックリングレーザの光増幅器11としてファイバアンプ、半導体アンプはもちろんのこと、光を増幅する作用を有するものであれば全て、使用することができる。

【0040】本発明では、ある波長 λ と、この波長 λ から変化後の波長 $\lambda + \Delta\lambda$ と、それに対して同じ変調周波数でモードロック発振させるために必要な光遅延量 $\Delta\tau$ と、から波長分散を求める方式を採用している。したがって、モードロックリングレーザが少なくとも2種類の既知の波長で選択的に発振することが必要とされる。

【0041】この波長選択手段としては通常、波長可変光フィルタ12が用いられる。光フィルタは特定の波長帯域の光のみを通過させ、他の光を吸収または反射して通過させない装置である。通過帯域の選択機構として、測定者が手動でダイヤル等を動かすもの、パソコン等で電氣的に制御するもの等がある。帯域幅は、1～3nm

程度が適当である。この波長可変光フィルタ12を光増幅器11と組み合わせて使用することにより、所望の波長の光を得ることができる。

【0042】また、本発明の測定目的においては少なくとも2種類の波長を選択的に設定できればよいので、波長可変光フィルタ12に限られず通過帯域が固定された光フィルタを少なくとも2種類用意し（通過帯域は相互に異なるとする）、それらをスイッチ等で切り替えるような手段を用意しても、波長選択手段として利用可能である。図1では、波長選択手段として波長可変光フィルタを使用している。

【0043】波長選択手段である波長可変光フィルタ12では、通常、設定されている通過帯域の中心波長を知る手段が用意されており、後述する例ではこの手段で得られる波長をモードロック発振の発振波長として使用する。波長可変光フィルタ12に通過帯域の中心波長を知る手段が用意されていない場合、又は、より高精度に発振波長を知るためには、出力光を一部分岐させて波長計（図示せず）により発振波長を測定すればよい。

【0044】光変調器は、それを通過する光の強度、周波数または位相を変化させる装置であり、それぞれ強度変調器、周波数変調器、位相変調器と区別される。モードロックリングレーザを構成するためには、強度変調器と位相変調器が特に有用である。図1では光変調器として強度変調器13を使用している。

【0045】これら強度変調器13または位相変調器を用いたモードロックリングレーザは能動型モードロックリングレーザと呼ばれる。能動型モードロックリングレーザでは変調器に変調信号を供給する外部の信号源が必要である。信号源に要求されることは、正弦波信号が出力されること、およびその周波数が可変であることである。なお、このような項目は特に特別なものでなく、一般的な信号発生器が利用可能である。正弦波信号の周波数がリングの基本周波数またはその整数倍のときに、モードロック発振が生じる。

【0046】能動型モードロックリングレーザにおいて、変調器に供給される変調信号の周波数（以下、変調周波数と表す）が、リングの基本周波数のときと、その整数倍であるときとで、理論的には以後の取り扱いに全く差は生じない。しかし、一般的には、変調周波数が高いほど、モードロック発振によつて生じる光パルスのパルス幅が狭くなり、結果として波長分散測定における分解能が向上する。

【0047】光変調器の代わりに非線型光学媒質を用いたモードロックリングレーザは受動型モードロックリングレーザと呼ばれる。非線型光学媒質とは、通過する光の強度などによって吸収や屈折率などの特性が変化する媒質のことをいう。このような媒質を光パルスが通過する際は、パルス波形に応じて強度変調または位相変調が自動的に生じるので、能動型モードロックリングレーザ

における光変調器と同様の効果が得られる。

【0048】受動型モードロックリングレーザでは光パルスが自分自身を変調するので、能動型モードロックリングレーザで必要な外部の変調信号は受動型モードロックリングレーザでは不要である。なお、この場合、光パルス列の繰り返し周波数は自動的にリングの基本周波数に一致する。

【0049】非線型光学媒質としては、可飽和吸収体がいち最も一般的に用いられる。可飽和吸収体とは、入射する光の強度がある程度大きくなると吸収率が小さくなり（これを吸収が飽和するという）、透過率が大きくなるような性質を示す物質や装置のことをいう。例えば、光半導体アンプの励起電流を増幅作用が得られる電流値以下に抑えることにより、可飽和吸収体として使用できる。可飽和吸収体を光パルスが通過するときを考える。光パルスが入射してしばらくは吸収が大きく、通過する光の強度は小さい。次に、光パルスが最大強度に近づくと、吸収が飽和し、通過する光の強度は急激に増大する。光パルスが最大強度から減少に転じるときは、これと逆の効果が生じて、通過する光の強度は急激に減少する。

【0050】したがって、結果的に通過した光パルスは通過前に比べて幅の狭い鋭いパルスになっている。このことは、能動型モードロックリングレーザにおいて光変調器として強度変調器13を使用した場合と同様の効果をもたらす。なお、受動型モードロックリングレーザを用いた装置の具体的な構成は後述する。

【0051】次に、モードロックリングレーザの光学長を調節する第2の手段（以下、光学長可変手段と表す）について説明する。光学長可変手段としては光遅延器が一般的である。光遅延器の構造例を図3に示す。図3（a）はコーナキューブミラーを用いて光を遅延させる光遅延器の動作原理図であり、図3（b）は同光遅延器の概略構成図である。

【0052】この場合、コーナキューブミラーを直線移動ステージに載せて駆動する方式がある。コーナキューブミラーは3枚の鏡を直角になるように貼り合わせたものであり、入射光と出射光とが必ず平行になる性質を有している。このコーナキューブミラーを光軸と平行に移動させると出射光は同じところに帰還しながら、光の距離が変化し、光の遅延量を制御できる。このコーナキューブミラーを用いた利点は、光が空間を伝播するため波長分散が無視でき、後述する校正を行わなくても高精度の測定が可能となる点にある。

【0053】光遅延器の実現例としてはコーナキューブミラーを用いたもののほかに、プリズムを用いたものや、光導波路の温度伸縮を用いたものもあり、いずれも本発明に利用することができる。なお、プリズムや光導波路はそれぞれ固有の波長分散があり、被測定光部品2の波長分散を高精度に測定する際にはこれらの波長分散

を校正する必要がある。校正の方法については後述する。

【0054】モードロックリングレーザのリング中に挿入される被測定光部品2としては、原理的には光が通過するものであればどのようなものでも測定可能である。特に、本発明は基本的に実長または実寸法の小さいものの波長分散の測定について優位性を発揮する。具体的には、分散シフト光ファイバや分散フラット化光ファイバなどが挙げられる。

【0055】さて、以上で述べた光増幅器11、波長選択手段である波長可変光フィルタ12、光変調器である強度変調器13または非線型光学媒質、光学長可変手段である光遅延器で光が周回するリングを作るように結合させるには、光ファイバを用いてもよいし、レンズ、ミラー等を用いて空間結合させてもよい。

【0056】また、このリング中に挿入される被測定光部品2を含めてそれぞれの配置は、原理的には任意の順番での配置が可能である。但し、実際には各構成要素それぞれの特性に依存して、最適な配置が存在することもある。例えば、一般的に光増幅器11の出力には自然放光が付加されているので、光増幅器11の直後には波長選択手段である波長可変光フィルタ12を接続することが望ましい。また、波長選択手段である波長可変光フィルタ12の直後には、他に条件がなければ、被測定光部品2と、光変調器である強度変調器13（または非線型光学媒質）とを比較し、その中で最大許容光入力の大きい方を接続することが望ましい。

【0057】以上述べてきたように、少なくとも2種類の既知の波長で選択的に発振可能なモードロックリングレーザを備え、モードロックリングレーザのリング中に測定対象である被測定光部品2を挿入している。この構成にモードロック発振を検知する第1の手段と、光学長可変手段によって変化した光学長の変化分を検知するための第3の手段とを接続することにより波長分散特性を測定する装置が完成する。ただし、モードロックリングレーザとして受動型モードロックリングレーザを使用した場合には、後述するように、パルスの繰り返し周波数を調べる手段が必要である。

【0058】引き続き図1を用いて説明する。図1はモードロックリングレーザとして能動型モードロックリングレーザを使用した例である。上述のように、波長選択手段として波長可変光フィルタ12を用いている。また、光変調器としては強度変調器13を用いている。

【0059】以下、モードロック発振を検知する第1の手段について説明する。通常は、光検知器3及びそれに接続されたオシロスコープ15を用いる。ただし、この手段にもさまざまなものがあり、必ずしも以下の例に限定されない。

【0060】モードロック発振を検知する第1の手段は、光増幅器11、波長選択手段である波長可変光フ

ルタ12、被測定光部品2および光変調器である強度変調器13または非線型光学媒質である可飽和吸収体とから構成されるリングに接続されている。そして、このリング中の光は一部が取り出され、光検知器3に導かれる。光をリングから一部取り出すためには、光ファイバで結合した場合は光カプラが利用でき、空間結合の場合はハーフミラーやビームスプリッタなどが利用できる

(図示せず)。光検知器3の出力信号を通常のオシロスコープ15などで観察する。モードロック発振しているときは、上記出力信号は光パルス列に対応してパルス信号となるので、容易に判別できる。

【0061】オシロスコープ15には、外部トリガ信号を必要とするものと、必要としないものの2種類がある。能動型モードロックリングレーザでは外部の信号源として信号発生器14が存在するので、この信号を外部トリガ信号として利用できる。図1の例では、外部トリガ信号を必要とする種類のオシロスコープ15を使用した例である。

【0062】また、モードロック発振を検知する他の手段として、光検知器3およびオシロスコープ15を用いる代りに、ストリークカメラを用いて光パルス列が発生しているかどうかを直接観察してもよい(図示せず)。

【0063】次に、光学長可変手段である光遅延器16によって変化した光学長の変化分を検知する手段を説明する。後に説明されるように、波長分散の測定に必要となるのは、光遅延器16の任意に設定された基準位置に対する光学長の変化分であり、光学長そのものは必要でない。しかし、絶対的な光学長を検知する手段が用意されているなら、それをもとに容易に光学長の変化分を得ることができる。以下では、光学長を検知する手段が用意されていないとして、光学長の変化分を検知する手段について説明する。

【0064】光学長の変化分を検知する手段は、さまざまな手段が考えられるが、通常は光遅延器16の機能として備わっている。例えば、専用コントローラやパソコンなどから光学長やその変化分を設定することのできる光遅延器16を用いれば、その設定値を変化させることは、光学長の変化分を検知したことに同義である。

【0065】また、コーナキューブミラーが設置されている直線移動ステージの移動量を検知する手段が用意されているような光遅延器16では、光遅延器内では光が往復しているとみなすことが出来るのでステージの移動量を2倍にして光学長の変化分を得ることができる。

【0066】光遅延器16にその機能として光学長の変化分を検知する手段が用意されていない場合は、何らかの手段によってコーナキューブミラーが設置されているステージの移動量を検知すればよい。ステージがステップモーターによって駆動される方式ならば、ステージを移動させるためにステップモーターに送出した電気パルス数をカウントすることにより、このパルス数

とステージのギア比とからステージの移動量を知ることができる。さらにまた、ステージの移動軸の延長線上に基準点を設け、この基準点とステージとの間の距離をマイクロメータ等で測定する方法もある。これらの方法によって得られたステージの移動量を2倍して、光学長の変化分を検知することができる。

【0067】なお、厳密に光学長やその変化分を求めるためには、ステージの移動量の2倍に空気の屈折率を乗じなければならない。しかし、空気の屈折率はおおよそ1.0003程度なので、通常は空気の屈折率を無視してもそれによる誤差は0.03%を超えない。

【0068】また、光遅延器16の構成例として、導波路の温度伸縮を用いた方式も考えられる。この場合も、光学長の変化分を検知する何らかの手段が光遅延器16の機能として用意されている場合が一般的である。このような手段が用意されていない場合は、実際の長さの変化分を検知して、これに導波路媒質の屈折率を乗じればよい。

【0069】ここで、請求項で述べた一定のパルスの繰り返し周波数でモードロック発振が発生するようにモードロックリングレーザの光学長を調節することの、能動型モードロックリングレーザにおける意味を説明する。

【0070】能動型モードロックリングレーザにおいては、パルスの繰り返し周波数は、光変調器の変調周波数に常に一致する。したがって、能動型モードロックリングレーザにおいてパルスの繰り返し周波数を一定に保つということは、光変調器の変調周波数を一定に保持することを意味する。ここで、モードロック発振している能動型モードロックリングレーザにおいて、光変調器の変調周波数が一定に保持されたまま、波長が変更された場合を考える。リングレーザに波長分散があれば、リングレーザの光学長がわずかながら変化し、よってリングレーザの基本周波数が増加するので、モードロック発振は発生しなくなるか、発生しても最適な状態ではなくなる。

【0071】したがって、能動型モードロックリングレーザにおいて、請求項で述べたことは、具体的には、光変調器の変調周波数を一定の値に保持したまま、波長を変更しても、モードロック発振を検知する第1の手段によってモードロック発振が検知され続けるように、光学長可変手段である光遅延器の光学長を調節することを意味している。

【0072】以下、測定の手順について説明する。まず、第1の波長においてモードロック発振を発生させる。そのためには、光変調器の変調周波数と光遅延器の光学長のいずれか一方もしくは両方を調節しながら、モードロック発振を検知する第1の手段を用いて最適な変調周波数もしくは光学長を決定する。このとき、光変調器の変調周波数を調節することと光遅延器の光学長を調節することは理論的には同質の効果を与えるが、発明の

効果で後述するとおり、一般的には光遅延器の光学長を調節の方がより高い分解能が得られる。モードロック発振が得られたときの光遅延器の光学長を、以後の測定のための基準量とするために、[0]と設定する。

【0073】次に、波長選択手段である波長可変光フィルタ12を操作して、モードロックリングレーザの発振波長を変化させる。このときの出力波長を $\lambda + \Delta\lambda$ とする。このとき、被測定光部品2を含むモードロックリングレーザ全体の波長分散が0でない限り、発振波長変化に起因してモードロック発振は最適な状態からずれてしまう。

【0074】本発明では、光変調器の変調周波数を最初の値に保持したまま、光学長可変手段である光遅延器16の光学長を調節する。モードロック発振を検知する第1の手段によって最適なモードロック発振が検知される*

$$D \approx \Delta\tau / (L \times \Delta\lambda) = -\Delta L / (c \times L \times \Delta\lambda) \quad \dots(10)$$

上式より、 ΔL 、 L および $\Delta\lambda$ を測定することにより波長分散 D が計算される。また、前述した(7)式に対応して、被測定光部品2の全分散量 D_a は(11)式で表され ※

$$D_a \approx \Delta\tau / \Delta\lambda = -\Delta L / (c \times \Delta\lambda) \quad \dots(11)$$

以上のような測定を行うことにより、従来の技術の課題で述べられている電気部品の周波数特性による誤差の問題は、本実施例では発生しない。しかし、光遅延器16の構成要素としてプリズムなどの波長分散特性を持つ材料や装置を使用した場合や、光部品の結合に波長分散特性を持つ光ファイバを使用した場合には、それらの波長分散特性による誤差が生じる。本実施例ではこのような誤差を以下に述べる方法で校正して抑制することができる。

【0079】(9)式で得られた群遅延時間差 $\Delta\tau$ は、被測定光部品2のみによる群遅延時間差 $\Delta\tau_i$ と、被測定光部品2以外の光部品による群遅延時間差 $\Delta\tau_o$ との和であると考えられる。そこで被測定光部品2の入射端と出射端を結合させて被測定光部品2を除いた波長分散測定装置を構成し、上記と同様の測定を行なう。このときも発振周波数は、被測定光部品2を測定したときと同じ周波数 f を保つように、光遅延器16の光学長を調節する。

【0080】このときの(9)式で得られた値は被測定光部品2以外の光部品による群遅延時間差 $\Delta\tau_o$ である。したがって、実際に被測定光部品2を挿入した時に得られた群遅延時間差 $\Delta\tau$ からこの $\Delta\tau_o$ を差し引くことにより、被測定光部品2のみによる群遅延時間差 $\Delta\tau_i$ が求められる。この求められた群遅延時間差 $\Delta\tau_i$ および(10)式より、被測定光部品2のみの波長分散 D が得られる。以上が校正の方法である。

【0081】なお、従来技術において同様に被測定光部品2の入射端と出力端を短絡させると、全体の光学長が短くなったことによって本来の測定時より繰り返し周波数が高くなるので、電気部品に周波数特性が全くない場

* ために必要な光学長の変化分を、光遅延器16などの検知手段によって検知する。このようにして検知された光学長の変化分を ΔL とする。

【0075】このとき、(2)式に対応する群遅延時間差 $\Delta\tau$ と発振周波数の関係は(8)式で与えられる。

$$f = 1 / (\tau + \Delta\tau + \Delta L / c + T) \quad \dots(8)$$

ここで、 c は光の速度(299792458m/s)である。(1)式及び(8)式より、群遅延時間差 $\Delta\tau$ は(9)式で導かれる。

$$\Delta\tau = -\Delta L / c \quad \dots(9)$$

したがって、前述した(5)式に対応して、本実施例における波長分散 D は(10)式で表される。

【0077】

※。

【0078】

合を除いて、被測定光部品2以外の波長分散特性を校正することができない。

【0082】

【実施例】以下、本発明における光部品の波長分散測定装置の具体的実施例を説明する。

(第1実施例) 図1の測定装置に比較してさらに高精度に基本周波数を測定するための第1実施例を図4に示す。

【0083】第1実施例においては、図4に示すように、光検知器3の出力信号を一部分岐させ、低域通過フィルタ17を介してパワーメータ18に導く。低域通過フィルタ17の通過帯域は、光増幅器11の緩和振動周波数と呼ばれる周波数であるおよそ10kHzを通過させるように設定する。パワーメータ18によって測定される低域のパワーは、完全なモードロック発振のときに最小になることが知られている(高良ほか、緩和振動周波数成分抑圧によるモード同期Er添加ファイバレーザの安定化法、1995年電子情報通信学会総合大会、B-1156)。こうして完全なモードロック発振の状態になるように変調周波数を調整すれば、容易に光学長の変化分を1 μ mの精度で測定することができる。なお、図4のその他の構成は図1の測定装置と全く同様である。

【0084】ところで、従来技術の項目でも述べたように、波長分散は数学的には群遅延時間差の波長に対する微分で表される。この微分量が直接得られるような波長分散の測定方法も存在し、その方法を用いてもよいが、本発明の実施の形態では、直接的に測定されるのは群遅延時間差である。ここまでに述べられてきた方法は、群遅延時間差の波長に対する微分を差分に置き換えた近似

式により、かつ、2種類の異なる波長における測定のみから波長分散を求める方法である。

【0085】しかし、群遅延時間差（あるいは光学長の変化分）を測定する波長の数を2種類より多くし、それぞれの波長に対応する光学長の変化分をそれぞれ測定すれば、近似の精度が向上する。例えば、3種類の波長 $\lambda - \Delta\lambda$ 、 λ および $\lambda + \Delta\lambda$ において、発振周波数を一定*

$$D \approx -(\Delta L_1 + \Delta L_2) / (2 \times c \times L \times \Delta\lambda) \quad \cdots(12)$$

また、被測定光部品2の全分散量 D_a は、前述した(11)式に対応して(13)式で計算される。

$$D_a \approx -(\Delta L_1 + \Delta L_2) / (2 \times c \times L \times \Delta\lambda) \quad \cdots(13)$$

なお、2組の測定がある場合の(10)式または(11)式や、3組の測定がある場合の(12)式または(13)式、さらに多数の測定がある場合のそれに対応する計算式によって、波長分散 D または全分散量 D_a を計算する手段は、測定後に測定者が計算する方式でもよいが、測定装置にこの計算手順を組み込むことも当然に可能である。

【0088】さらに、モードロック発振を最適な状態に保持するように光学長可変手段である光遅延器16の光学長を調節する操作も、測定者が手動で行う方式でもよいが、測定装置に組み込むことも当然に可能である。

【0089】（第2実施例）図5は受動型モードロックリングレーザを用いた光部品の波長分散測定装置の第2実施例である。

【0090】この第2実施例では非線型光学媒質として可飽和吸収体19を用いている。モードロック発振を検知する第1の手段としてオシロスコープ15を用いる場合、外部トリガ信号が利用できないので、外部トリガ信号を必要としない種類のオシロスコープ15を用いる必要がある。その他、光学長可変手段および光學長可変手段によつて変化した光学長の変化分を検知する手段は、前述した能動型モードロックレーザを利用した図4に示す第1実施例と同様である。

【0091】請求項に述べた一定のパルスの繰り返し周波数でモードロック発振が発生するようにモードロックリングレーザの光学長を調節することの、受動型モードロックリングレーザにおける意味について説明する。

【0092】受動型モードロックリングレーザにおいては、パルスの繰り返し周波数は、リングレーザの光学長の変化に応じて変化する。受動型のモードロックリングレーザにおいて、最適なモードロック発振している状態からモードロックリングレーザの光学長がわずかに変化すると、最適なモードロック発振している状態は保たれたまま、パルスの繰り返し周波数が光学長の変化に対応して変化する。

【0093】したがって、受動型モードロックリングレーザにおいて、請求項に述べたことは具体的には、波長の変更によつて結果的に生じるパルスの繰り返し周波数の変化を打消すように、光学長可変手段である光遅延器の光学長を調節することを意味している。

* 値 f に保つために必要な光遅延器16の光学長の変化分がそれぞれ、 $-\Delta L_1$ 、0、および ΔL_2 と測定されたとする。この3組の測定値を2次関数で近似すれば、波長 λ における被測定光部品2の波長分散 D は(12)式で計算される。

【0086】

※【0087】

【0094】このため、受動型モードロックリングレーザを利用した第2実施例では、出力光パルスの繰り返し周波数を測定する手段の追加が必要である。出力光パルスの繰り返し周波数を測定するためには、光検知器3で光パルス列を電気信号に変えた後、2分岐させてオシロスコープ15等で波形を観察するとともに、周波数カウンタ20等を用いて電気パルス列の繰り返し周波数を測定すればよい。すなわち、波長を変更したときに、周波数カウンタ20等で測定される電気パルス列の繰り返し周波数が一定の値に保たれるように、光学長可変手段である光遅延器16の光学長を調節する。以下、波長分散の計算方法は実施の形態及び第1実施例における説明と同じである。

【0095】（第3実施例）図6は受動型モードロックリングレーザを用いた光部品の波長分散測定装置の第3実施例である。

【0096】この第3実施例の基本的な構成は図5に示す第2実施例と同じであるが、相違点として周波数カウンタ20の代りに発振器21と周波數位相比較器22、そして周波數位相比較器22からの信号を受け、閉回路の信号と発振器21からの信号との周波数及び位相差を表示する周波數位相差表示器23が設けられている。なお、これらの発振器21、周波數位相比較器22及び周波數位相差表示器23は特別なものではなく、一般に市販されているものでよい。

【0097】そして、この第3実施例での測定手順は次のようになる。まず、第2実施例と同様に、モードロック発振させ、このとき周波數位相差表示器23に表示される周波数及び位相差が零になるように発振器21の発振周波数を調整する。次に、波長を変更すると波長分散によつてパルスの繰り返し周波数が変わり、周波數位相差表示器23に周波数及び位相差が表示される。したがって、この周波数及び位相差が再び零になるように光遅延器16の光学長を調整する。以下、波長分散の計算方法は実施の形態及び第1実施例における説明と同じである。

【0098】なお、第2、第3実施例において、パルスの繰り返し周波数を一定に保つように光遅延器16の光学長を調節する操作も、測定者が手動で行う方式でもよ

いが、測定装置に組込むことも当然に可能である。

【0099】

【発明の効果】本発明の光部品の波長分散測定装置においては、リングを構成する部分を光のみで構成したので、従来技術における光検知器3、帯域通過用のフィルタ4、増幅器5及び振幅制限器6における電気部品の周波数応答特性、特に群遅延の周波数に対する依存性による誤差は発生しない。

【0100】なお、本発明では従来技術に対して、波長可変光フィルタ12や強度変調器13などの光部品が追加されており、これらが測定上、無視できない波長分散特性を持っている場合もあるが、その際は校正の項で説明されている手順に従えば被測定光部品2だけの厳密な波長分散が求められる。これに対し従来技術では電気信号の周波数応答特性の問題を回避するのは非常に難しい。

【0101】次に、本発明では光増幅器11を用いていることにより、従来技術に対して波長の可変範囲が広いという効果を有している。光増幅器11の説明で述べたとおり、適当な光フィルタと組み合わせれば、50～1000nmの波長の可変範囲が得られる。この特性は、光通信システムの設計などにおいて十分な可変範囲であるといえる。

【0102】また、(9)式から明らかのように、波長の可変範囲が大きいほど、より小さな波長分散も測定できるので、本発明では波長分散の分解能が高まっているといえる。さらに、被測定光部品2に入射する光電力についても、光増幅器11の利得を調整することにより変更する事ができるので、より実際の使用条件に近い形で測定が可能である。

【0103】次に、モードロックリングレーザの変調周波数は、光の周回の基本周波数にきわめて敏感である。上記のような手段を用いれば、光学長の変化量 ΔL を1 μm の精度で測定することは容易である。この精度に対応する波長分散の測定精度は、被測定光部品2として長さ100mの光ファイバを考えた場合、波長変化量 $\Delta \lambda$ を従来技術と同じ5nmとして、0.007ps/nm/kmに達する。この精度は、従来技術の理論的な限界をさらに2桁近く上回るものである。

【0104】さらに、本発明は、リング部分をすべて光で周回させる方式であることによる別の効果も有してい

る。すなわち、従来技術の課題であった電気部の各部品の調整が不要になり、測定の容易性および客観性（再現性）が増している。

【0105】また、当然、群遅延特性の測定も可能である。すなわち、少なくとも2つの異なる波長において光学長の変化量 ΔL を測定することにより、(9)式から群遅延時間差 $\Delta \tau$ が計算される。この群遅延測定における従来技術に対する効果は、波長分散測定における本発明の従来技術に対する効果と同様の点を指摘することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態に係わる光部品の波長分散測定装置を示す図である。

【図2】 モードロック発振と光パルス列の関係を説明するための図である。

【図3】 コーナキューブミラーを用いた光遅延器の動作原理及び概略構成を示す図である。

【図4】 本発明の第1実施例に係わる光部品の波長分散測定装置の概略構成を示す図である。

【図5】 本発明の第2実施例に係わる光部品の波長分散測定装置の概略構成を示す図である。

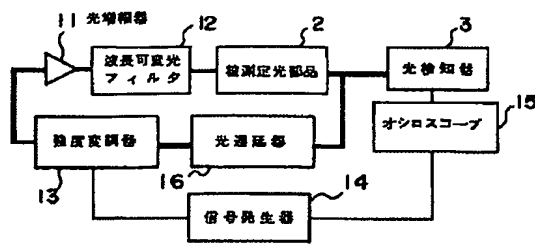
【図6】 本発明の第3実施例に係わる光部品の波長分散測定装置の概略構成を示す図である。

【図7】 従来の光部品の波長分散測定装置の概略構成を示す図である。

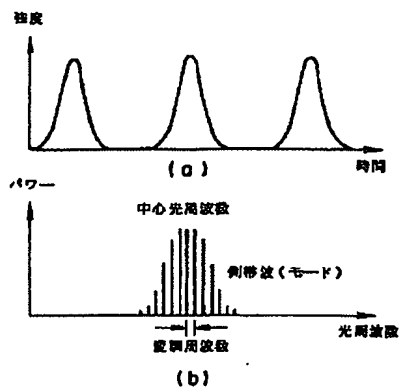
【符号の説明】

- 2 被測定光部品
- 3 光検知器
- 11 光遅延器
- 12 波長可変光フィルタ
- 13 強度変調器
- 14 信号発生器
- 15 オシロスコープ
- 16 光遅延器
- 17 低域通過フィルタ
- 18 パワーメータ
- 19 可飽和吸収体
- 20 周波数カウンタ
- 21 発振器
- 22 周波數位相比較器
- 23 周波數位相差表示器

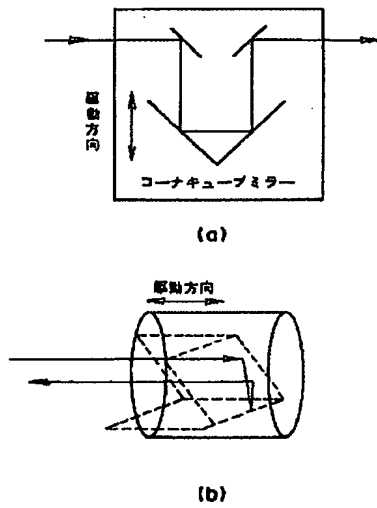
【図1】



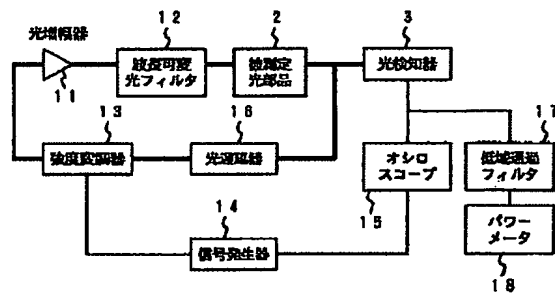
【図2】



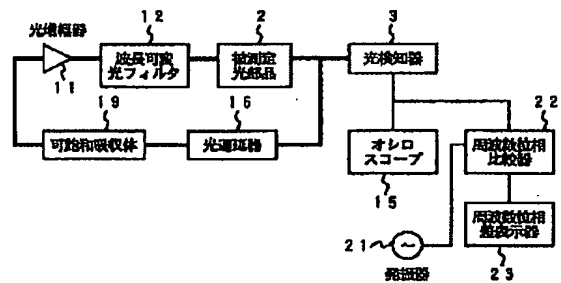
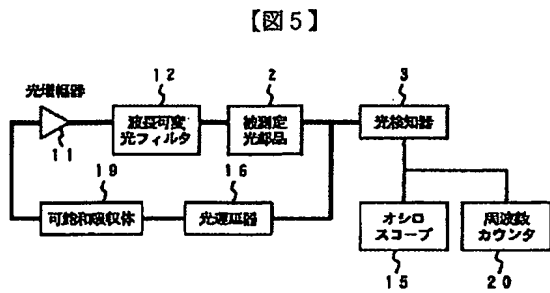
【図3】



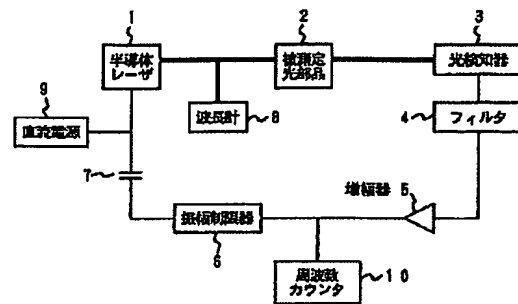
【図4】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 齊藤 崇記
東京都港区南麻布五丁目10番27号 アンリ
ツ株式会社内
(72)発明者 高良 秀彦
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 川西 悟基
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内
(72)発明者 猿渡 正俊
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内